

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengukuran Kualitas Udara

Indeks Kualitas Udara (*Air Quality Indeks*) adalah standar yang digunakan dalam pengukuran pencemaran udara. Setiap suatu negara memiliki standar yang berbeda dalam pengukurun pencemaran udara di Indonesia ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara, di Beijing *Air Quality Indeks* (AQI), di Singapore *Pollutant Standards Index* (PSI), di Korea Selatan *Comprehensive Air Quality Indeks* (CAI), di United Kingdom *Air Pollutan Banding* (APB), di Eropa *Common Air Quality Index* (CAQI) dan lainnya.

2.1.1 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Saat ini Indeks standar kualitas udara yang dipergunakan secara resmi di Indonesia adalah Indek Standar Pencemar Udara (ISPU), hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP 45/MENLH/1997 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Dalam keputusan tersebut yang dipergunakan sebagai bahan pertimbangan diantaranya: bahwa untuk memberikan kemudahan dari keseragaman informasi kualitas udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara perlu disusun Indeks Standar Pencemar Udara. Indeks Standar Pencemar Udara adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Indeks Standar Pencemar Udara ditetapkan dengan cara mengubah kadar pencemar udara yang terukur menjadi suatu angka yang tidak berdimensi. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara dapat dilihat pada tabel 2.1[15].

Tabel 2.1 Rentang Indeks Standar Pencemar Udara

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika.
Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika.
Tidak Sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat Tidak Sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius.

Data Indeks Standar Pencemar Udara diperoleh dari pengoperasian Stasiun Pemantauan Kualitas Udara Ambien Otomatis. Sedangkan Parameter Indeks Standar Pencemar Udara meliputi :

- a. Partikulat (PM10)
- b. Karbondioksida (CO)
- c. Sulfur dioksida (SO₂)
- d. Nitrogen dioksida (NO₂)
- e. Ozon (O₃)

Dalam pengukuran perhitungan dan pelaporan serta informasi Indeks Standar Pencemar Udara ditetapkan oleh Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, yaitu Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 Tanggal 21 November 1997[15]

Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, memuat diantaranya adalah :

1. Parameter-Parameter Dasar Untuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Dan Periode Waktu Pengukuran, selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter-Parameter Dasar Untuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Dan Periode Waktu Pengukuran

No	Parameter	Waktu Pengukuran
1.	Partikulat (PM ₁₀)	24 Jam (Periode pengukuran rata-rata)
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	24 Jam (Periode pengukuran rata-rata)
3.	Carbon Monoksida (CO)	8 Jam (Periode pengukuran rata-rata)
4.	Ozon (O ₃)	1 Jam (Periode pengukuran rata-rata)
5.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 Jam (Periode pengukuran rata-rata)

Catatan :

- a. Hasil pengukuran untuk pengukuran kontinyu diambil harga rata-rata tertinggi waktu pengukuran.
 - b. ISPU disampaikan kepada masyarakat setiap 24 jam dari data ratarata sebelumnya (24 jam sebelumnya).
 - c. Waktu terakhir pengambilan data dilakukan pada pukul 15.00 Waktu Indonesia Bagian Barat (WIBB).
 - d. Yang dilaporkan kepada masyarakat berlaku 24 jam ke depan (pkl 15.00 tgl (n) sampai pkl 15.00 tgl (n+1))
2. Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.2. Tabel 2.2. Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).
2. Angka dan kategori Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Angka dan Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

INDEKS	KATEGORI	WARNA BENDERA
1-50	Baik	
51-100	Sedang	
101-199	Tidak Sehat	
200-299	Sangat Tidak Sehat	
300-lebih	Berbahaya	

3. Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara untuk setiap parameter pencemar, dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 Pengaruh ISPU untuk setiap Parameter Pencemar

Kategori	Rentang	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (selama 4 jam)	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (selama 4 jam)	Tidak ada efek
Sedang	51-100	Perubahan kimia darah namun tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak Sehat	101-199	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok dan penderita jantung	Bau, terjadi peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunann kemampuan pada atlet yang berlatih keras	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana-mana

4. Batas Indeks Standar Pencemar Udara Dalam Satuan SI

Tabel 2.5 Indeks Standar Pencemar Udara Dalam Satuan SI

Kategori	ISPU	24 Jam PM10 ug/m ³	8 Jam SO ₂ ug/m ³	8 Jam CO ug/m ³	1 Jam O ₃ ug/m ³	1 Jam NO ₃ ug/m ³
Baik	50	50	80	5	120	
Sedang	100	150	365	10	253	
Tidak Sehat	200	350	800	17	400	1130
Sangat Tidak Sehat	300	420	1600	34	800	2260
Berbahaya	400	500	2100	46	1000	3000
Sangat Berbahaya	500	600	2620	57.5	1200	3750

2.2 Kualitas Udara

Kualitas udara ambien merupakan salah satu elemen dalam lingkungan industri yang wajib di monitor. Rentang waktu pengukurannya biasanya mengacu kepada AMDAL yang dipegang suatu industri. Biasanya per 3 bulan sekali

kualitas udara ambien harus diukur guna mengetahui adanya perubahan atau tingkat pencemaran udara baik oleh gas-gas tertentu serta suspen particulate (TSP)/debu di udara[16]. Kualitas udara merupakan parameter untuk mengukur keadaan pada udara yang layak pada sebuah wilayah. Penurunan kualitas udara diakibatkan oleh polutan seperti beberapa jenis gas, asap kendaraan, asap industri dan limbah udara dari rumah tangga.

Kualitas udara berarti keadaan udara di sekitar kita yang mengacu pada udara yang bersih atau tercemar. Kualitas udara yang baik tidak hanya sangat penting untuk manusia, tetapi juga penting untuk hewan, tumbuhan, air dan tanah. Ada beberapa istilah yang digunakan dalam kualitas udara[17] yakni:

- a. Polutan adalah zat-zat, terdiri dari gas atau partikel berlebihan yang mencemari udara. Kualitas udara dapat diukur dari banyaknya jumlah dan jenis polutan di udara. Kandungan polutan dinyatakan dengan istilah emisi dan konsentrasi.
- b. Emisi adalah gas buang yang merupakan polutan, diukur per satuan luas (massa/luas/waktu).
- c. Konsentrasi merupakan banyaknya polutan, dihitung per satuan volume/media. Satuan yang digunakan yaitu ppm (part per million).

2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara

Kualitas udara dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya lokasi, sumber pencemar dari berbagai kegiatan, polutan, serta meteorologi dan topografi yang mempengaruhi penyebaran polutan di udara[17][18][19]

1. Lokasi

Pencemaran udara dapat terjadi di luar ruangan (outdoor air quality) maupun di dalam ruangan (indoor air quality). Pencemaran udara luar ruangan dapat terjadi mulai dari lingkungan rumah, perkotaan hingga sudah menjadi isu global. Menurut World's Worst Polluted Places dalam Blacksmith Institute pada tahun 2008, pencemaran udara luar perkotaan adalah masalah kedua pencemaran udara yang paling serius di dunia setelah pencemaran udara yang terjadi di dalam ruangan[20].

2. Sumber Pencemaran

Meningkatnya populasi manusia dan banyaknya kebutuhan, mengakibatkan peningkatan pencemaran udara. Pencemaran udara dapat disebabkan oleh emisi dari berbagai sumber, baik dari proses alam ataupun akibat aktivitas manusia yang menghasilkan polutan sehingga mencemari udara[18].

2.3 Parameter-Parameter Kualitas Udara

2.3.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan pencemar udara yang paling besar dan umum dijumpai. Sebagai besar CO terbentuk akibat proses pembakaran bahan-bahan karbon yang digunakan sebagai bahan bakar, secara tidak sempurna, misalnya dari pembakaran bahan bakar minyak, pemanas, proses-proses industri dan pembakaran sampah[21].

Bahwa konsentrasi CO di udara per waktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan bermotor. Semakin ramai kendaraan bermotor yang ada, semakin tinggi tingkat polusi CO di udara. Terpaparnya gas pencemar berupa CO dalam darah (COHb) pada manusia ini akan mengakibatkan penurunan kapasitas darah untuk mengikat oksigen. Kadar COHb dalam akan naik apabila CO meningkat dan aktifitas fisik juga meningkat. Paparan yang berlebihan pada manusia akan mengakibatkan pengrusakan penglihatan dan kesadaran, fungsi sistem kontrol syaraf turun serta fungsi jantung dan paru-paru menurun bahkan dalam kondisi yang berlebihan dapat menyebabkan kematian. Pada dasarnya karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak terasa dan juga tidak berwarna. Oleh karena itu lingkungan yang tercemar oleh gas CO tidak dapat dilihat oleh mata. Didaerah perkotaan dengan lalu lintas yang padat konsentrasi gas CO berkisar antara 10 - 15 ppm[22].

2.3.2 Karbon Dioksida (CO₂)

Kandungan karbon dioksida di udara segar bervariasi antara 0,03% (300ppm) sampai dengan 0,06% (600 ppm) bergantung pada lokasi. Paparan

berkepanjangan terhadap konsentrasi karbon dioksida yang sedang dapat menyebabkan efek-efek merugikan pada metabolisme kalsium fosforus yang menyebabkan peningkatan endapan kalsium pada jaringan lunak. Karbon dioksida beracun kepada jantung dan menyebabkan menurunnya gaya kontraktil. Pada konsentrasi tiga persen berdasarkan volume di udara, ia bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi dan menyebabkan penurunan daya dengar. Pada konsentrasi sekitar lima persen berdasarkan volume udara ia menyebabkan stimulasi pusat pernapasan, pusing-pusing, kebingungan, dan kesulitan pernapasan yang diikuti sakit kepala dan sesak napas. Pada konsentrasi delapan persen, ia menyebabkan sakit kepala, keringatan, penglihatan buram, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama lima sampai sepuluh menit[23].

Oleh karena bahaya kesehatan yang diasosiasikan dengan paparan karbon dioksida, Administrasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Amerika Serikat menyatakan bahwa paparan rata-rata untuk orang dewasa yang sehat selama waktu kerja 8 jam sehari tidak boleh melebihi 5.000 ppm (0,5%). Batas aman maksimum untuk balita, anak-anak, orang tua, dan individu dengan masalah kesehatan kardiopulmonari (jantung dan paru-paru) secara signifikan lebih kecil. Untuk paparan dalam jangka waktu pendek (di bawah 10 menit), batasan dari Institut Nasional untuk Kesehatan dan Keamanan Kerja Amerika Serikat (NIOSH) adalah 30.000 ppm (3%). NIOSH juga menyatakan bahwa konsentrasi karbon dioksida yang melebihi 4% adalah langsung berbahaya bagi keselamatan jiwa dan kesehatan[24].

Dalam ruangan tertutup yang dipenuhi orang, konsentrasi karbondioksida akan mencapai tingkat yang lebih tinggi daripada konsentrasi di udara bebas. Konsentrasi yang lebih besar dari 1.000 ppm akan menyebabkan ketidaknyamanan terhadap 20% penghuni dan ketidaknyamanan ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi CO₂. Ketidaknyamanan ini diakibatkan oleh gas-gas yang dikeluarkan sewaktu pernapasan dan keringat manusia. Pada konsentrasi 2.000 ppm mayoritas penghuni akan

merasakan ketidaknyamanan yang signifikan dan banyak yang akan mual-mual dan sakit kepala.

2.3.3 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) terdiri dari elemen hidrogen dan karbon dan sifat fisik HC dipengaruhi oleh jumlah atom karbon yang menyusun molekul HC. HC adalah bahan pencemar udara yang dapat berbentuk gas, cairan maupun padatan. Semakin tinggi jumlah atom karbon, unsur ini akan cenderung berbentuk padatan. Hidrokarbon dengan kandungan unsur C antara 1 - 4 atom karbon akan berbentuk gas pada suhu kamar, sedangkan kandungan karbon diatas 5 akan berbentuk cairan dan padatan. HC yang berupa gas akan tercampur dengan gas-gas hasil buangan lainnya. Sedangkan bila berupa cair maka HC akan membentuk semacam kabut minyak, bila berbentuk padatan akan membentuk asap yang pekat dan akhirnya menggumpal menjadi debu. Berdasarkan struktur molekulnya, hidrokarbon dapat dibedakan dalam 3 kelompok yaitu hidrokarbon alifalik, hidrokarbon aromatik dan hidrokarbon alisiklis. Molekul hidrokarbon alifalik tidak mengandung cincin atom karbon dan semua atom karbon tersusun dalam bentuk rantai lurus atau bercabang.

2.3.4 Debu Partikulat

Partikulat debu melayang (Suspended Particulate Matter/SPM) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikel debu SPM pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber

emisinya. Karena Komposisi partikulat debu udara yang rumit, dan pentingnya ukuran partikulat dalam menentukan pajanan, banyak istilah yang digunakan untuk menyatakan partikulat debu di udara. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti: Suspended Particulate Matter (SPM), Total Suspended Particulate (TSP), black smoke.

Debu partikulat didefinisikan yang memiliki diameter $10\ \mu\text{m}$ yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling PM10. Partikulat ini termasuk kedalam tipe polutan karena dapat masuk kedalam saluran pernapasan yang lebih dalam. Fraksi utama partikel ukuran ini banyak bersumber dari industry[25].

2.3.5 Suhu dan Kelembaban

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu bendaan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer. Suhu disebut juga temperatur. Mengacu pada SI (Satuan Internasional), satuan suhu adalah Kelvin (K). Skala-skala lain adalah Celcius, Fahrenheit, dan Reamur. Pada skala Celcius, 0°C adalah titik dimana air membeku dan 100°C adalah titik didih air pada tekanan 1 atmosfer. Skala ini adalah yang paling sering digunakan di dunia. Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif. Alat untuk mengukur kelembaban disebut higrometer. Kelembaban udara menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban nisbi (relatif) maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban mutlak adalah kandungan uap air (dapat dinyatakan dengan massa uap air atau tekanannya) per satuan volum. Kelembaban nisbi membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara. Sedangkan defisit tekanan uap air adalah selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual.

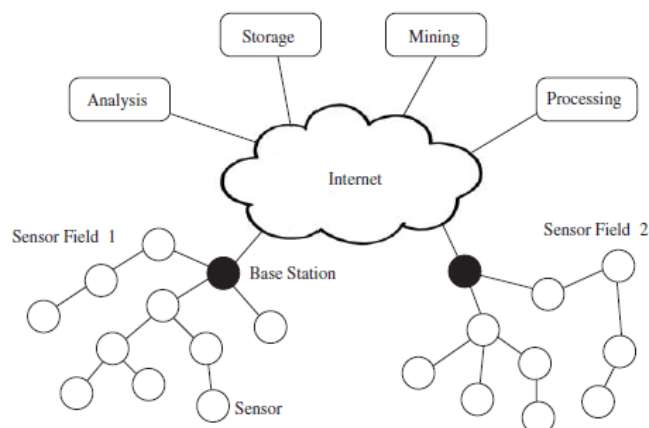
2.4 Pengertian *Wireless Network Sensor* (WSN)

2.4.1 *Wireless Network Sensor* (WSN)

Wireless sensor network terdiri atas sekumpulan sensor (alat pendeteksi) yang tersebar dan memiliki kemampuan untuk melingkupi area atau wilayah geografis tertentu yang disebut sebagai area sensor, dimana pada area sensor itu terdapat banyak sekali parameter – parameter yang dapat dideteksi. Sensor – sensor ini dirancang dengan sedemikian rupa sehingga berkemampuan untuk dapat merasakan (sensing), penghitungan, dan elemen-elemen komunikasi yang memberikan kemampuan kepada administrator untuk mengukur, mengobservasi, dan memberikan reaksi kepada suatu event (kejadian) dan fenomena pada lingkungan tertentu, memproses data hasil dari pengumpulan informasi, serta dapat melakukan komunikasi baik secara horizontal (sesama sensor), maupun vertikal (dengan base station) tanpa menggunakan kabel untuk media transmisinya (wireless)[26].

WSN pada umumnya diimplementasikan untuk komunikasi data skala kecil yang digunakan untuk mengirim data hasil deteksi sensor untuk diolah Kembali. Selama penelitian terakhir, WSN telah banyak digunakan dalam berbagai bidang aplikasi yang terkait pemantauan air[27][28]. Sejumlah node sensor dikerahkan untuk meningkatkan akurasi data dan mencapai konektivitas sistem yang lebih baik. Namun, penyebaran node sensor yang padat memiliki beberapa kerugian: konsumsi energi yang tinggi, tabrakan data, interferensi, dll[29].

Jika wireless sensor network ini dihubungkan ke gateway yang dapat mengakses internet maka wireless sensor network ini dapat diakses dan berkolaborasi dengan sistem lain, seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Wireless Sensor Network[26]

2.5 WSN sebagai sistem monitoring lingkungan

Pembangunan industri dan konstruksi mengakibatkan meningkatnya polusi industri pada lingkungan. Pencemaran industri terdiri dari limbah dalam bentuk air, gas dan padat. Secara umum, limbah ini berbahaya karena sebagian besar komponennya terdiri dari adiktif dan bahan-bahan kimia yang sulit terdegradasi. Zat-zat ini memiliki dampak buruk terhadap lingkungan dan mengancam kelangsungan hidup makhluk hidup, menurut Environmental Protection Agency. Beberapa negara maju telah mengembangkan teknologi untuk mendeteksi tingkat limbah dalam air, tetapi karena ini relatif mahal untuk diadopsi di Indonesia, itu harus dikembangkan secara independen di dalam negeri untuk menghemat pengeluaran barang-barang impor[30][31].

Lingkungan saat ini sudah sangat tercemar ini disebabkan banyaknya faktor yang mendukung terjadinya pencemaran. pencemaran lingkungan tidak tercipta dari hanya limbah industri tetapi juga dari limbah pembungan emisi kendaraan.

Wireless Sensor Network atau Jaringan sensor nirkabel merupakan perangkat otonom yang terdistribusi khusus menggunakan sensor dalam memantau kondisi fisik atau lingkungan, seperti suhu, suara, getaran, tekanan, gerakan di lokasi yang berbeda dan secara kooperatif meneruskan data melalui jaringan ke jaringan utama atau *Base Station* yaitu lokasi dimana data dapat diamati dan dianalisis dan berperan sebagai antarmuka antara pengguna dan jaringan[32][33].

Aplikasi untuk WSN banyak dan beragam. Mereka digunakan dalam aplikasi komersial dan industri untuk memonitor data yang akan sulit atau mahal untuk dipantau dengan menggunakan sensor kabel. Dalam aplikasi yang khas, WSN tersebar di wilayah yang dimaksudkan untuk mengumpulkan data melalui node sensornya[32].

Sistem pemantauan kualitas air biasanya dikembangkan untuk memantau kondisi dan kualitas air termasuk suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas dan oksigen terlarut (DO) untuk teluk laut, danau, sungai dan badan air lainnya. Sistem penginderaan dan pemantauan lautan digunakan untuk memantau air laut kondisi dan parameter lingkungan lainnya[34]. Tidak hanya laut yang mengalami pencemaran lingkungan tetapi seluruh element di muka bumi ini telah mengalami pencemaran yang sangat signifikan dari tahun ke tahun.

Karena pertumbuhan dramatis dalam perkembangan industri dan populasi, lingkungan atmosfer alami telah menjadi tercemar dan cepat memburuk. Jadi, itu pemantauan dan pengendalian polutan seperti itu sangat penting untuk mencegah bencana lingkungan. Instrumen analitik konvensional untuk tujuan ini memakan waktu, mahal, dan jarang digunakan secara real-time di lapangan. Dengan demikian, sensor gas solid state itu kompak, kuat, dengan aplikasi serbaguna dan biaya rendah, bisa menjadi alternatif yang sama efektifnya[35].

Environmental Protection Agency menyatakan enam polutan udara berbahaya bagi kesehatan manusia, kerusakan lingkungan bahkan harta benda yang kini umum ditemukan di Amerika Serikat adalah *particulate matter*, *ground-level ozone*, karbon monoksida, sulfur oksida, nitrogen oksida, dan timbal (Pb). Adanya kadar Pb udara tinggi di jalan raya diakibatkan polutan udara yang terakumulasi tersebut sebagian besar dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan bermotor yang menggunakan timbal (Pb) sebagai bahan aditif dalam bahan bakar bensin. Senyawa timbal (Pb) tersebut berbentuk *Tetraethyl Lead* (TEL) dan *Tetramethyl Lead* (TML) yang berfungsi untuk meningkatkan nilai oktan dari bahan bakar bensin, meningkatkan daya pelumas, serta meningkatkan kinerja kendaraan bermotor dengan pembakaran bahan bakar bensin pada mesin yang lebih efisien[36].

Lingkungan yang telah tercemar tidak hanya berada di luar rumah saja tetapi udara yang berada di dalam ruangan pun masih dapat terkena pencemaran lingkungan. Ada kesadaran publik yang berkembang mengenai risiko yang terkait dengan kualitas udara dalam ruangan yang buruk di rumah dan tempat kerja. Karena orang Amerika menghabiskan sekitar 22 jam setiap hari di dalam ruangan, individu yang rentan jauh lebih besar risiko efek kesehatan yang merugikan dari tingkat paparan kronis yang rendah polutan udara dalam ruangan dari waktu ke waktu. Seiring dengan partikulat materi, gas seperti ozon, nitrogen dioksida, karbon monoksida, dan sulfur dioksida; mikroba dan kimia organik yang mudah menguap senyawa; asap pasif; dan udara luar ruangan adalah jenis polutan udara yang paling umum ditemui di dalam ruangan[37].

2.6 Teknologi *Wireless Sensor Network* dalam Pengaplikasian

2.6.1 Aplikasi Monitoring Lingkungan Real Time

Wireless Sensor Network atau jaringan sensor nirkabel telah mendapatkan popularitas yang cukup besar karena fleksibilitas mereka dalam memecahkan masalah di berbagai domain aplikasi dan berpotensi untuk mengubah hidup kita dengan berbagai cara. WSN telah berhasil diterapkan di berbagai domain aplikasi dan aspek kehidupan berikut beberapa penerapan dalam pengaplikasian:

1. Aplikasi militer : Jaringan sensor nirkabel kemungkinan merupakan bagian integral dari komando militer, kontrol, komunikasi, komputasi, intelijen, pengawasan di medan perang, sistem pengintaian dan penargetan. Mobile robot war merupakan pengaplikasian dari WSN sehingga manusia bisa melakukan pertahanan hanya dengan sebuah robot sebagai pengganti manusia.
2. Area monitoring : Di area *monitoring*, node sensor dikerahkan di atas wilayah dimana beberapa fenomena dipantau. Bila sensor mendeteksi kejadian yang dipantau (panas, tekanan dll), kejadian tersebut dilaporkan ke salah satu base station, yang kemudian mengambil tindakan yang tepat.
3. Transportasi : Informasi lalu lintas real-time dikumpulkan oleh WSN untuk kemudian dikirimkan model transportasi dan *driver* peringatan kemacetan

dan masalah lalu lintas. Informasi pelanggaran yang diterima dari transportasi juga termasuk WSN real time karena dari data yang dikumpulkan oleh cctv langsung dikirim ke server database.

4. Aplikasi kesehatan : Beberapa aplikasi kesehatan untuk jaringan sensor mendukung antarmuka untuk penyandang cacat, pemantauan pasien terpadu, diagnostik, dan pemberian obat di rumah sakit, pemantauan data fisiologis manusia, dan pemantauan & pemantauan dokter atau pasien di dalam rumah sakit.
5. Penginderaan lingkungan : Istilah *Environmental Sensor Network* telah dikembangkan untuk mencakup banyak aplikasi penelitian *WSNs to earth science*. Ini termasuk merasakan gunung berapi, samudra, gletser, hutan , monitoring siklus kehidupan di perairan dll. Beberapa area utama lainnya tercantum di bawah ini :
 - a. Pemantauan polusi udara
 - b. Deteksi kebakaran
 - c. Monitoring sistem perairan
 - d. Deteksi tanah longsor
 - e. Monitoring rumah kaca.
 - f. Deteksi gas berbahaya
6. Pemantauan struktural : *Wireless sensor* dapat digunakan untuk memantau pergerakan di dalam bangunan dan infrastruktur seperti jembatan, jalan layang, tanggul, terowongan dll yang memungkinkan praktik rekayasa untuk memantau aset dari jarak jauh tanpa memerlukan kunjungan ke tempat yang mahal. Pemantauan jarak jauh ini didukung oleh sensor-sensor node pada wsn yang mampu menembus halangan sehingga terjadi komunikasi jarak jauh.
7. Pemantauan industri : WSN telah dikembangkan untuk mesin kondisi berbasis pemeliharaan (CBM) karena mereka menawarkan penghematan biaya yang signifikan dan memungkinkan fungsi baru. Dalam sistem kabel, pemasangan sensor cukup sering dibatasi oleh biaya pemasangan kabel.
8. Sektor pertanian : menggunakan *Wireless sensor* membebaskan petani dari pemeliharaan kabel di lingkungan yang sulit. Otomatisasi irigasi

memungkinkan penggunaan air lebih efisien dan mengurangi limbah. Membuat petani lebih cepat dalam melakukan proses pertanian seperti monitoring hasil panen, dan bisa membuat pekerjaan petani lebih mudah dalam mengetahui hama yang menyerang dengan cara melihat monitoring dari WSN.

2.6.2 Aplikasi Lingkungan Berbasis IoT

Internet of Things adalah sebuah konsep dimana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer jadi secara definisi IoT komunikasi yang bisa bergerak dengan sendirinya tanpa bantuan user (manusia). Adapun pengaplikasian dari IoT yakni :

Hadirnya teknologi Internet of Things (IoT) potensial dimanfaatkan untuk solusi pemantauan tersebut. IoT merupakan teknologi yang memungkinkan benda-benda di sekitar kita terhubung dengan jaringan internet. Teknologi ini ditemukan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999. Hingga saat ini, teknologi IOT sudah dikembangkan dan diaplikasikan. Cara kerjanya setiap obyek diberikan identitas unik (IP Address) agar dapat terhubung dengan internet sehingga bisa diakses kapan saja dan dimana saja[38].

Sistem keamanan lingkungan perumahan yang dikembangkan ini merupakan sistem yang dapat digunakan untuk melakukan proses monitoring suatu lingkungan perumahan dengan menggunakan telepon pintar berbasis Android serta melihat hasil rekaman kejadian yang terjadi sebelumnya. Sistem menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat komputasi pada beberapa lokasi pengamatan yang terhubung dengan suatu komputer server dan telepon pintar atau smartphone pengguna untuk mengakses aplikasi web untuk melakukan monitoring melalui suatu jaringan lokal nirkabel[39].

Jaringan listrik cerdas atau yang lebih dikenal dengan istilah *Smart Grid* merupakan salah satu bentuk transformasi dan reformasi teknologi di industri ketenagalistrikan. *Smart Grid* adalah jaringan energi listrik modern yang secara cerdas dapat mengintegrasikan jaringan listrik dengan perangkat komunikasi yang

mendukung pembangkit dan jaringan transmisi distribusi listrik menjadi lebih atraktif, komunikatif dan berkualitas. *Smart Grid* juga mampu untuk mencegah dan mengisolasi gangguan dengan cepat serta menyajikan informasi data kelistrikan secara *real time*. Sedangkan Internet of Thing (IoT) adalah sebuah metode yang bertujuan untuk memaksimalkan manfaat dari konektivitas internet untuk melakukan transfer dan pemrosesan data-data atau informasi melalui sebuah jaringan internet secara nirkabel, virtual dan otonom.[40].

Perkembangan industri jasa transportasi memegang peranan penting dan berkembang pesat dalam hal distribusi. Di dalam industri jasa transportasi kita mengenal tiga jenis transportasi, yaitu : transportasi darat, transportasi laut, dan transportasi udara. Peningkatan jumlah kendaraan di jalan raya yang jauh melebihi pertumbuhan panjang badan jalan yang tersedia menyebabkan waktu tempuh kendaraan menjadi sulit untuk diperkirakan karena banyaknya kemacetan serta keamanan kendaraan tersebut menjadi suatu permasalahan sendiri. Aplikasi ini dapat mengontrol keberadaan dan kecepatan kendaraan travel, mengontrol rute perjalanan, dapat mengetahui estimasi jadwal pada kendaraan travel, dan juga dapat mengetahui history keberangkatan[41].

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan manusia akan sumber daya energi. Salah satunya penggunaan LPG (Liquefied Petroleum Gas) dalam kehidupan sehari-hari. Namun dari banyaknya kelebihan yang didapatkan dari pemanfaatan LPG tersebut, masih terdapat beberapa faktor berbahaya yang harus diperhatikan. Misalnya dalam proses pemasangan tabung LPG yang tidak benar dapat menyebabkan terjadinya kebocoran gas yang nantinya dapat memicu ledakan. Untuk itulah diperlukan alat yang dapat mendeteksi kebocoran gas dengan Internet of Things supaya dapat memberikan notifikasi yang cepat agar bisa dilakukan penanggulangan dini jika terjadinya kebocoran gas[42].

Salah satu perkembangan teknologi internet pada saat ini adalah Internet of thing. Ada beberapa protokol yang berkembang untuk implementasi Internet of things diantaranya adalah Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Pada artikel ini dibahas implementasi protokol MQTT untuk sistem monitoring suhu

jarak jauh. Implementasi sistem menggunakan sensor suhu LM35, Arduino UNO dan modul wifi Esp8266 ver 01. Prototype sistem berhasil direalisasikan baik pada Node Sensor maupun Node Monitor. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat melakukan koneksi ke server MQTT lokal maupun server MQTT global, mampu mengirim data (publish) dan menerima data (subscribe). Monitoring suhu jarak jauh sangat bermanfaat jika dilakukan pada daerah yang luas, daerah yang berbahaya atau untuk kecepatan pengambilan data karena hanya peralatan sensor dan sistem transmisi yang berada di lokasi. Akses jarak jauh dapat melalui media kabel, nirkabel atau serat optik baik secara *point to point* maupun jaringan[43].

2.7 Confusion Matrix

Pada bidang pengenalan pola (*pattern recognition*) dan temu kembali informasi (*information retrieval*) terdapat proses perhitungan yang umum digunakan sebagai alat ukur untuk menghitung kinerja sebuah sistem atau metode yang digunakan yaitu *confusion matrix*. *Confusion matrix* merupakan suatu metode yang digunakan untuk melakukan perhitungan akurasi pada konsep data mining. Sehingga hasil evaluasi dengan *confusion matrix* berupa nilai akurasi, presisi dan *recall*. Presisi dan *recall* merupakan istilah yang akan muncul apabila sistem yang sudah dibuat dapat menampilkan hasil (*retrieve*) suatu hasil baik berupa klasifikasi, prediksi dan pencarian[44].

Sedangkan didalam buku “Pengolahan Citra Digital” yang ditulis oleh Pulung Nurtation Andono *et al* (2017), *confusion matrix* adalah matrix yang berisikan mengenai hasil yang diperoleh dari prediksi klasifikasi dan data actual yang dilakukan oleh sistem klasifikasi. Jadi, *confusion matrix* berisikan suatu informasi dari sistem yang sudah melakukan perbandingan antara hasil pengelompokkan yang diharapkan atau seharusnya keluar. Umumnya kinerja sistem klasifikasi dihitung dengan memerlukan beberapa data yang ada dalam tabel 2.6 *confusion matrix* menggunakan 4 (empat) istilah sebagai representasi hasil proses klasifikasi. Keempat istilah tersebut adalah *True Positif* (TP), *True Negatif* (TN), *False Positif* (FP) dan *False Negatif* (FN) sebagai berikut:

Tabel 2.6 *Confusion Matrix* [45]

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	TP (True Positif) <i>Corect Result</i>	FP (False Positif) <i>Unexpected Result</i>
	False	FN (False Negatif) <i>Missing Resukt</i>	TN (True Negatif) <i>Corect Obsence of Result</i>

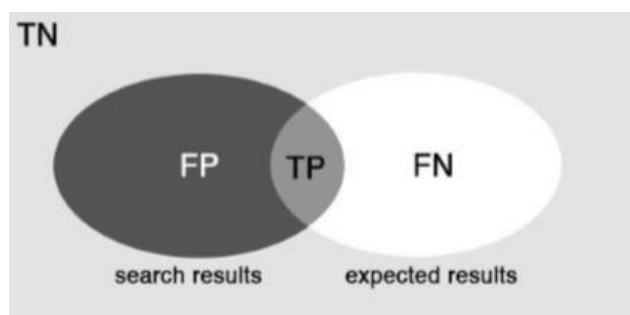
Jadi akurasi, Presisi dan *Recall* dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (3)$$

Ilustrasi dari tabel *confusion matrix* terdapat dalam gambar 2.2 seperti berikut :

Gambar 2.2 Diagram Ilustrasi Tabel *Confusion Matrix* [46]

TP : Hasil pencarian relevan dan hasil muncul sesuai harapan.

FP : Hasil pencarian tidak relevan tapi hasil muncul secara tidak terduga.

FN : Hasil pencarian relevan tapi hasil tidak muncul sesuai harapan, hilang.

TN : Hasil pencarian tidak relevan dan tidak adanya hasil revisi yang muncul.

Akurasi (*accuracy*) adalah derajat kedekatan antara nilai prediksi dengan nilai actual (sesungguhnya). Nilai akurasi dapat diperoleh dengan Persamaan 1. Presisi (*precision*) atau *confidence* yaitu derajat dalam ketepatan atau kesesuaian antara informasi yang diminta oleh *user* dengan jawaban yang diberikan oleh sistem (*recommendation system*). Dapat diartikan juga bahwa *precision* merupakan alat ukur kualitas untuk melihat seberapa manfaatnya sistem pencarian (*Precision* → *How useful* → *Quality*). Nilai presisi dapat diperoleh dengan Persamaan 2. Sedangkan *Recall* atau *sensitivity* didefinisikan sebagai derajat keberhasilan sistem dalam menemukan kembali sebuah informasi pencarian (*Recall* → *How Complete* → *Quality*). Nilai *recall* dapat diperoleh dengan Persamaan 3[45]. Error adalah kasus yang diidentifikasi salah dalam sejumlah data, sehingga dapat dilihat seberapa besar tingkat kesalahan pada sistem yang digunakan. Nilai error dapat diperoleh dengan Persamaan 4.

$$Error = \frac{FP}{TP} \times 100\% \quad (4)$$

Nilai yang biasanya diberikan untuk akurasi, presisi dan *recall* biasanya berbentuk presentase 1 - 100%, jika nilai yang didapatkan diatas 50% maka dapat dikatakan efektif dan begitu juga sebaliknya jika nilai yang didapatkan dibawah 50% maka dapat dikatakan tidak efektif sistem tersebut. Di sarankan untuk menghitung dan mengevaluasi hasil sebuah sistem pencarian informasi, minimal menggunakan dua parameter yaitu presisi dan *recall* karena jika nilai persentase *recall* ataupun presisi nya tinggi., maka sistem informasi tersebut dianggap baik[47]. Contohnya, jika seseorang sedang mencari sebuah informasi mengenai “resep memasak sayur bayam” pada sebuah sistem pencarian dan didalam sistem tersebut terdapat 100 macam-macam resep memasak sayur bayam. Maka sistem tersebut dianggap baik apabila mampu menemukan 100 macam-macam resep memasak sayur bayam.

2.8 Perbandingan Sebelumnya

Tabel 2.7 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Penulis	Metode	Software	Hardware	Sensor	Kelebihan	Kekurangan
Neila Amalina, M. Amin Hariyadi, A'la Syauqi	Confusion Matrix	-	Aplikasi Augmented Reality	-	1. Merender animasi 3D pada template pattern huruf abjad A-Z 2. Tingkat akurasi, presisi dan recall 100%	1. Perlu menambahkan template pattern 3D yang lain 2. Menggunakan versi android
Wardani Rahayu, Eko Wahyudi	Confusion Matrix	-	-	-	1. Skor indeks SHL lebih akurat daripada skor indeks Donlon Fischer dan Jacob 2. Deteksi menggunakan SHL akan mudah dilakukan jika dibuat dalam formulir aplikasi	Untuk mendeteksi skor yang tidak sesuai agar lebih stabil daripada tingkat kesulitan, tingkat kesulitan item harus direpresentasikan dengan menggunakan skala tes.
M Yusro, E Suryana, K Ramli, D Sudiana, K M Hou	Confusion Matrix	Algoritma YuRHos	-	-	1. Dapat mendeteksi objek kutub dan dapat membedakan objek non-kutub. 2. Algoritma YuRHoS lebih akurat dalam mendeteksi objek	Perlunya tambahan objek lain agar dapat dibandingkan seberapa tingkat akurasi

Nikos Grammalidis1, Enis Çetin, Kosmas Dimitropoulos, dkk.	A Multi-Sensor Network for The Protection of Cultural Heritage	Online Adaptive Decision Fusion (ADF) framework	Wireless sensor network, zigbee wireless	Sensor temperatur, gps, kamera	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jangkauan monitoring kebakaran lebih luas karna didukung map gps 2. Pemantauan terhadap kebakaran secara real time dan cepat 3. Telah didukung algoritma cerdas yang berfungsi pengenalan pola serta teknik fusi data untuk secara otomatis menganalisis informasi sensor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Keterbatasan penerbangan dengan kontrol lalu lintas udara atau kondisi cuaca buruk dan jangkauan yang terbatas 2. Sistem udara mengacu pada sistem yang dipasang di helikopter (ketinggian <1 km) atau pesawat terbang (hingga 2 hingga 10 km di atas permukaan laut)
Piove Wiraguna, Dr. Ir Rendy Munadi, MT., Unang Sunarya, ST., MT.	<i>Wireless Sensor Network</i>	-	Protokol MQTT dan Protokol HTTP	CO	Dapat mengetahui nilai <i>throughput</i> dan <i>delay</i> dengan menggunakan HTTP	Hanya menggunakan sensor CO saja, seharusnya tambahkan parameter-parameter yang lain seperti CO2, HC dll.
Masdukil Makruf, Ainiyatus Sholehah, Miftahul Walid	<i>Wireless Sensor Network</i>	-	Microcontroller	DHT11, <i>Turbidity</i>	Hasil nilai sesuai dengan range yang ditentukan	Kurang sistem kontrol pada pengisian nutrisi secara otomatis dengan menambahkan sensor

Dwiki Likuisa, MS. Hendriyawan Ahmad	<i>Internet Of Thing</i>	-	<i>Webside</i>	CO, O3, PM10, SO2, NO2	Sistem Pemantau Kualitas Udara berhasil menghasilkan data kualitas udara lebih banyak	Informasi ISPU ditampilkan hanya berbentuk tulisan
Fikri Faisal Adli, Ajib Setyo Arifin	<i>Internet Of Thing</i>	-	Microcontroller	CO	Pengiriman data sudah berbasis IoT dengan memanfaatkan WIFI modul ESP8266	Belum memiliki integrasi dengan sistem ventilasi yang menjadi fasilitas pada parkir <i>basement</i> .
Azlin, Fitriah Musadat	<i>Real Time</i>	-	<i>Webside</i>	MQ-2, MQ-7	Mengetahui perhitungan nilai akurasi tingkat polusi di sekitar kampus	Perlu tambahan sensor kualitas udara yang lain
Aditya Kurniawan, Rendy Munandi	Topologi <i>singleop</i> dan <i>multihop</i>	-	-	MG811, DHT11	Dapat memonitoring gas berbahaya dalam kondisi ruangan.	Kurangnya parameter-parameter lain yang terkait.